(Aus der Augenabteilung der kantonalen Krankenanstalt Aarau.
[Oberarzt: Dr. *A. Vogt.*])

Experimentelle Untersuchungen über Wirkung der ultraroten Strahlen auf das Auge.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen Medizinischen Fakultät der Universität Basel

vorgelegt von

Juerg Reichen,

praktischer Arzt von Frutigen, Kanton Bern,
zur Zeit Assistenzarzt an der kantonalen Krankenanstalt Aarau.

ACAD.
LUGD. BAT.
BIBL.

BERLIN 1914
VERLAG VON S. KARGER
KARLSTRASSE 15.

Von der Medizinischen Fakultät Basel genehmigt auf Antrag von Prof. Dr. *Mellinger*.

Sonder-Abdruck aus der
Zeitschrift für Augenheilkunde. Bd. XXXI (1914).

Meinen lieben Eltern

in Dankbarkeit.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546707_0148

I. Einleitung.

Experimentelle Untersuchungen über Schädigungen des Auges durch Lichtstrahlen sind oft angestellt worden. So untersuchten *Widmark* und *Ogneff* (4 und 5) die Wirkung der ultravioletten Strahlen, während *Birch-Hirschfeld* (6) und Andere außer mit ultravioletten, auch mit sichtbarem Licht experimentierten.

Ueber die Wirkung der ultraroten Strahlen liegen einwandfreie systematische Untersuchungen nicht vor.

Nur *Widmark* (4) suchte 1889, von der Angabe *Mellonis* (1) ausgehend, wonach eine 2,2 mm dicke Scheibe von Bergsalz 92,3 pCt. Wärme durchläßt, das Ultrarot zu experimentellen Zwecken von den ultravioletten und von den leuchtenden Strahlen abzusondern, indem er eine Bergsalzlinse auf der einen Seite über einer Stearinkerze so lange berußte, daß der Schein einer Kerzenflamme sich durch dieselbe sehr deutlich unterscheiden ließ. Mit dieser Linse konzentrierte er das Licht einer Bogenlampe auf ein Kaninchenauge.

Versuche, das Ultrarot mit einer Lösung von Jodschwefelkohlenstoff zu filtrieren, scheiterten an der leichten Entzündbarkeit des Filters. Gestützt auf seine Versuche kommt *Widmark* zum Schluß, daß die strahlende Wärme keine oder nur eine äußerst geringe Wirkung auf das Kaninchenauge hervorrufe und daß sie bei der Erzeugung einer Lichtreizung nur eine untergeordnete Rolle spiele.

1891, anläßlich der Versuche über die Durchlässigkeit der Augenmedien für ultraviolette Strahlen, kam *Widmark* wieder auf die ultraroten Strahlen zurück.

Auf Grund seiner Versuche schrieb er ihnen eine pupillenverengernde Wirkung zu. Er experimentierte dabei wie folgt:

Das Licht einer elektrischen Bogenlampe wurde mittels einer Bergkristallinse auf ein Kaninchenauge konzentriert. Um das Ultraviolett zu absorbieren, stellte er vor das Versuchsauge

eine Glasplatte. Trotz wiederholter Atropineinträufelungen erzielte er auf diese Weise eine starke Miosis, die 8 Tage anhielt. Er schließt dann: Bei diesem Versuch, wo der größte Teil der ultravioletten Strahlen durch Absorption in der Glasplatte entfernt war, zeigten die Symptome im allgemeinen sich viel gelinder, die Kontraktion der Pupille trat ungefähr ebenso schnell ein wie vorher. Die Kontraktion konnte also nicht durch die ultravioletten Strahlen verursacht sein. Ebenso konnte sie, wie vorher gesagt, ihren Grund nicht gern in den leuchtenden Strahlen haben. Sie mußte also wahrscheinlich hauptsächlich durch die ultraroten Strahlen hervorgerufen sein.

Einwandfreie Versuche, mit ultraroten Strahlen das Auge zu schädigen, hat somit *Widmark* nicht angestellt, indem er in keinem Falle das Ultrarot in genügender Weise von den sichtbaren Strahlen trennte.

Bei den bisherigen Untersuchungen über Schädigungen mit ultravioletten Strahlen und mit sichtbarem Licht ist das Ultrarot auch stets nur ungenügend ausgeschaltet worden; denn es genügt eine Ausschaltung desselben mittels Wasserschichten von 1 bis mehreren Zentimetern Dicke, wie sie von den andern späteren Autoren verwendet wurden, nach den Untersuchungen von *Vogt* nicht zur Absorption des Ultrarots.

Nach der Darstellung in seiner Arbeit über „die Durchlässigkeit der durchsichtigen Medien des Auges für das Ultrarot künstlicher Lichtquellen" unterscheidet *Vogt* (7) zweierlei Arten von Ultrarot in bezug auf dessen Einwirkung auf das menschliche und auf das tierische Auge, je nachdem es durch Wasser resp. die Medien des menschlichen Auges, die sich in dieser Beziehung unter sich ungefähr gleich verhalten, absorbiert oder durchgelassen wird.

Nach Untersuchungen von *Hertel* läßt Wasser ultrarote Strahlen bis etwa zu 2000 $\mu\mu$ Wellenlänge teilweise durch. Am stärksten werden die ultraroten Wellenlängen in der Nähe des Rot durchgelassen, wie schon die Untersuchungen am Sonnenlicht von *Franz* (2) 1860 zeigten. Dies geht auch aus dem Gesetz von *Masson* und *Jamin* hervor, wonach ultrarote Strahlen von durchsichtigen Körpern um so stärker absorbiert werden, je größer ihre Wellenlänge ist.

Wellenlängen von mehr als 2000 $\mu\mu$ werden an der Oberfläche der Augenmedien (Tränenflüssigkeit, Hornhaut- und Bindehautepithel) oder des Wassers absorbiert und in Konvektionswärme umgewandelt.

Neuere Untersuchungen *Vogts* (8) zeigen, daß das kurzwellige Ultrarot nicht nur von den durchsichtigen Augenmedien, sondern auch von den Lidern, der Sklera, der Retina und der Chorioidea zum Teil durchgelassen wird, so daß ein Teil des auffallenden Lichtes den gesamten Bulbus durchdringt und in die Orbita gelangt.

Das die Augenmedien durchdringende Ultrarot wird nach *Vogt* in größeren Mengen nur von Wärmequellen emittiert, welche weiß-

glühend sind. Rotglühende oder gar nicht glühende Wärmequellen senden keine ultraroten Strahlen aus, welche in nennenswerter Menge die Augenmedien zu durchdringen vermögen.

Mit solchen relativ langwelligen ultraroten Strahlen konnte *Vogt* am Kaninchenauge starke Bindehautreizung, Epitheldesquamation und wenn auch der Limbus corneae bestrahlt wurde, Reizung der Iris und des Corpus ciliare erzeugen.

Er brauchte zu diesen Versuchen die strahlende Wärme einer auf ca. 350 Grad erhitzten Ofenplatte. Das Kaninchenauge im Abstand von 10—14 cm wurde damit 1—2 Minuten bestrahlt.

Es handelt sich bei diesen Versuchen um die *Wirkung fortgeleiteter Wärme* auf Bindehaut, Corpus ciliare und Iris. Die Veränderung der Pupille dauerte mehrere Minuten bis ½ Stunde und trat nur dann auf, wenn die Gegend des Limbus corneae und somit die unmittelbare Nachbarschaft des Corpus ciliare und der Iriswurzeln gereizt wurde.

Es handelt sich in der vorliegenden Arbeit darum, analoge Schädigungen am Kaninchenauge mit Hilfe des relativ kurzwelligen Ultrarots, das die Augenmedien zu durchdringen vermag, hervorzurufen.

Nach den Untersuchungen von *Hertel*, welche an Protozoen angestellt wurden, nimmt die schädigende Wirkung der ultraroten Strahlen auf die lebenden Zellen von der Rotgrenze an zu, bis zu der Grenze derjenigen Wellenlängen, welche Wasser noch gerade zu durchdringen vermögen, bis zu den Wellenlängen von ca. 2000 μμ, welche etwa die Grenze der Durchlässigkeit von Zelle und Wasser bilden.

Reflektorische Pupillenreaktion konnte *Vogt* durch Ultrarot nicht erzielen, weder mit dispergiertem Ultrarot (des Spektrums der Bogenlampe) noch mit dem durch Jodschwefelkohlenstoff filtrierten. Es war dabei zu erwarten, daß durch höhere Intensitäten dieses Abschnitts des Ultrarots eine Schädigung auf *innere Teile des Auges*, insbesondere auf die stark absorbierende Iris erzielbar sei. Zu diesem Zweck mußten Ultraviolett und sichtbares Licht von dem Ultrarot getrennt werden. Außerdem war das langwellige Ultrarot — um oberflächliche Schädigung möglichst zu verhindern — auszuschalten. Am nächsten würde liegen, diese Isolierung des kurzwelligen Ultrarot mit Hilfe der Dispersion zu erzielen. Zu diesem Zweck müßte ein Gitter- oder Kochsalzprisma verwendet werden, da Glasprismen das Ultrarot durch Absorption allzu stark schwächen würden. Allein durch diese Dispersion würde ein allzu großer Intensitätsverlust erzeugt werden, so daß eine Gewebsschädigung schwerlich erzielbar sein würde. Auch könnte, da zum Zweck der Dispersion das Licht durch eine enge Spalte geschickt werden muß, nur eine relativ geringe Lichtmenge zur Verwendung gelangen.

Eine zweite, auch von uns angewandte Methode besteht in der Absorption der Strahlen mittels undurchsichtiger Jodschwefel-

kohlenstofflösung in Glasgefäßen und Konzentrierung des durch die Lösung filtrierten Lichtes mit einer Kochsalzlinse.

Durch Jodschwefelkohlenstofflösung genügender Dichte werden sichtbares Licht und Ultraviolett total exstingiert, während das die Lösung enthaltende Glasgefäß das langwellige Ultrarot absorbiert. Dieses letztere kann noch weiter dadurch abgeschwächt und absorbiert werden, daß noch eine Wasserschicht eingeschaltet wird. Wird die Jodschwefelkohlenstofflösung in vertikaler Richtung durchstrahlt, so kann das Wasser über derselben geschichtet werden. Dadurch wird gleichzeitig auch die Verdunstung und die Entzündung der Schwefelkohlenstofflösung verhütet. Außerdem wird eine allzu rasche Erhitzung des Jodschwefelkohlenstoffs vermieden, insbesondere, wenn für genügende Zirkulation des Kühlwassers gesorgt wird.

Eine allzu dicke Wasserschicht zu verwenden, ist nicht rätlich, da hierdurch die Intensität auch des kurzwelligen Ultrarots zu sehr geschwächt wird.

Versuche

zu experimenteller Schädigung des Auges durch ultrarote Strahlen.

Für alle Versuche diente als Lichtquelle der Flammenbogen der einen von zwei parallel geschalteten elektrischen Bogenlampen von ca. 400 M.-K. Lichtstärke.

Dicke der spitzwinklig zueinander stehenden Kohlenstifte: 9 mm. Zur Konzentration des Lichtes wurde bei allen Versuchen eine von Herrn Optiker Büchi in Bern verfertigte Kochsalzlinse in Stahlfassung benutzt, die, plankonvex, eine Brechkraft von ca. 10,0 Dioptrien besaß.

Versuchstier I: schwarzes Kaninchen von 2 kg Gewicht, mit stark pigmentierter Iris.

I. Versuch. 24. IV. 1912.

Versuchsanordnung: Als Isoliermittel für die ultraroten Strahlen wurde die klassische Lösung von Jodschwefelkohlenstoff gewählt und zwar in einer Konzentration, die den Glühfaden einer elektrischen Glühbirne von 16 M.-K. (120 Volt) noch gerade als schwachroten dünnen Faden durchschimmern ließ.

Die Lösung befand sich in einer großen Petrischale von ca 12 cm Durchmesser und 1,5 mm Glasdicke. Farbe des Glases im Bruch bläulich. Auf die Schicht von Jodschwefelkohlenstofflösung wurde Wasser geschichtet und zwar in ca. 1,5 cm Dicke. Einerseits zur Abkühlung des Isoliermittels, das einen niedrigen Siedepunkt besitzt und außerdem sehr feuergefährlich, aber nicht explosibel ist, andrerseits zur Absorption der langwelligen ultraroten Strahlen.

Unter dieser Schale, im Abstand von 1 cm, die Kochsalzlinse, welche an einem Eisenständer, in vertikaler Richtung verschieblich, befestigt war.

Das Versuchstier, durch subkutane Injektion von 3 ccm Aether narkotisiert, wurde auf ein Brett gespannt und der Kopf eingestellt. Distanz vom Auge zu den Kohlenspitzen ca. 16 cm; Distanz vom Boden des Glasgefäßes zur Kohlenspitze ca. 5 cm. Das Versuchsauge im Vereinigungspunkt der durch die plankonvexe Kochsalzlinse gesammelten ultraroten Strahlen, in einer Entfernung von ca. 9 cm vom oberen Linsenrand.

Vor Beginn der Bestrahlung 3 Tropfen einer 2 proz. Kokainlösung ins Auge, sowie Einführen eines Ecarteurs.

Nach 22 Minuten kontinuierlicher Bestrahlung des linken Auges folgender Befund:

Bestrahltes Auge: Pupillenweite 6—7 mm.
Epithel der Cornea leicht getrübt.
Fluoreszin: leichte Epitheldefekte.

Unbestrahltes Auge: Pupillenweite 9—10 mm.
Hornhaut ohne Besonderheiten.
Fluoreszin: ebenfalls leichte Epitheldefekte.

Trotz 3 Tropfen 2 proz. Kokainlösung also eine Miosis von ca. 3 mm gegenüber dem unbestrahlten Auge.

Den Epitheldefekten der Cornea ist, wie die späteren Versuche zeigen, keine Bedeutung beizumessen: 1. können dieselben vom Ecarteur herrühren, 2. kommen sie bei allen Stallkaninchen sehr häufig vor, und 3. werden sie auch durch Kokainlösungen hervorgerufen.

Der Versuch mußte abgebrochen werden, da sich durch ein herunterfallendes Stück glühender Kohle von der Bogenlampe der infolge Siedens an die Oberfläche gelangte Jodschwefelkohlenstoff plötzlich entzündete.

Der Ersatz des Kühlwassers geschah durch Absaugen und Nachfüllen mittels einer großen Pipette. Doch ist dieses Verfahren nicht ratsam, da beim Absaugen giftige, stark reizende Joddämpfe inhaliert werden und andrerseits durch das Wechseln auch leicht Jodschwefelkohlenstoff an die Oberfläche kommt, was infolge der Entzündungsgefahr den Versuch leicht unterbrechen kann.

Nach ½ Stunde: Pupillendifferenz dieselbe.
Nach 10 Stunden: Pupillendifferenz noch gut wahrnehmbar; ca. 1 mm.
Nach 16 Stunden: Keine Differenz mehr.
(Pupillenweite mit einem *Haab*schen Pupillenmesser kontrolliert).

2. Versuch. 3. V. 1912.

Versuchstier: Dasselbe.
Narkose: Pantopon-Skopolamin subkutan.

Um den erwähnten Uebelständen von Versuchsanordnung I aus dem Weg zu gehen, wird nun folgende *Versuchsanordnung* getroffen: Die Isolierlösung von Jodschwefelkohlenstoff — in gleicher Konzentration wie in Versuch I — steht nun in einem planparallelen Glasgefäß von ca. 1 cm Lumen und 1,5 mm Glasdicke. Ein zweites Glasgefäß derselben Art und von der gleichen Dimension ist, mit Wasser gefüllt, dem ersten als Kühler vorgesetzt. Die beiden Gefäße sind voneinander getrennt durch einen Karton von 1,5 mm Dicke, der einen fünffrankstückgroßen Ausschnitt zum Durchlaß der Strahlen trägt. Der Ersatz des Kühlwassers geschieht automatisch durch Zufluß mittels eines Gummischläuchleins aus einem höher gelegenen Wassergefäß und durch Abfluß nach dem Prinzip der Heberdrainage durch einen Schlauch gleichen Kalibers.

Im Gegensatz zu Versuch I, wo die Bogenlampe vertikal hing, wird dieselbe nun horizontal gestellt. So war die Möglichkeit einer Entzündung der Filtrierlösung durch die Bogenlampe ausgeschaltet. Distanz von den Kohlenspitzen zum 1. Glasgefäß mit Wasser: 4,5 cm. Distanz von den Kohlenspitzen zum Auge: ca. 18 cm.

Die Linse in der Weise zwischen Auge und 2. Gefäß mit der Isolierlösung eingeschaltet, daß das Auge ungefähr in den Vereinigungspunkt der ultraroten Strahlen fällt.

Vorbereitung *beider* Augen wie in Versuch I. Bestrahlt wird wieder das linke Auge.

Nach 33 Minuten Bestrahlung:

Bestrahltes Auge: Absolut keine Veränderungen. Ecarteur für die Finger nicht im geringsten erwärmt.

Unbestrahltes Auge: Ebenfalls ohne Befund.

Das Uhrwerk der Bogenlampe funktioniert in horizontaler Lage nicht automatisch. Infolgedessen waren die Kohlenstifte nicht richtig ein-

gestellt, so daß ein schöner Flammenbogen, wie in vertikaler Lage, gar nicht zustande kam, was offenbar an der Wirkungslosigkeit schuld ist. Andrerseits mögen auch die Wände der beiden Glasgefäße die Intensität allzu sehr vermindert haben.

3. Versuch. 2. VI. 1912.

Da die Bogenlampe nur bei vertikaler Lage richtig funktioniert und einen schönen Flammenbogen gibt, wird eine neue *Versuchsanordnung*, ähnder ersten, getroffen.

Versuchstier: Dasselbe.

Narkose: Urethan 0,5 ccm intravenös in eine Ohrvene.

Bogenlampe steht senkrecht darunter in einer großen Petrischale von ca. 12 cm Durchmesser und 1,5 mm Glasdicke — Glas im Bruch bläulich —, die Filtrierlösung von Jodschwefelkohlenstoff in gleicher Konzentration wie bei Versuch 1 und 2. Schichtdicke 8 mm. Darauf ist Wasser geschichtet, in einer Dicke von 13 mm.

Dieses Wasser wird durch folgende Einrichtung beständig automatisch erneuert: In die Wasserschicht tauchen zwei dünne, durch eine Drahtbrücke fest fixierte Gummischläuche. Durch den einen fließt das Ersatzwasser aus einem höher gelegenen Behälter, während durch den andern mittels Heberdrainage stetsfort das gleiche Quantum wieder abgesogen wird. So ist eine rasche und ruhige Erneuerung des sich ziemlich schnell erhitzenden Wassers garantiert und auch die Gefahr ist behoben, daß der, infolge starker Bewegung an die Oberfläche gelangte Jodschwefelkohlenstoff sich etwa wieder entzünden könnte.

Ebenso ist bei dieser Versuchsanordnung der Nachteil der 4 Glasschichten der Plangefäße bei Versuch 2 behoben und die Absorption der strahlenden Wärme durch Glas selbst auf ein Minimum reduzietr. 1 cm unterhalb des Glasgefäßes die an einem Eisenständer fixierte Kochsalzlinse und darunter, im Vereinigungspunkt der ultraroten Strahlen, das rechte Auge des Kaninchens.

Distanz von der Linsenoberfläche zu den Kohlenspitzen: 8—9 cm.

Ecarteur in dem zu bestrahlenden Auge. Von Kokaineinträufelungen wurde abgesehen.

Beide Pupillen vor dem Versuch 10 mm.

Nach 10 Minuten kontinuierlicher Bestrahlung:
Rechte *bestrahlte* Pupille: 4—4,5 mm,
Linke *unbestrahlte* Pupille: 9 mm.

Nach weiteren 6 Minuten Bestrahlung:
Bestrahlte Pupille: 4—4,5 mm.
Unbestrahlte Pupille: 9 mm.

Bestrahlung abgebrochen.

Kontrolle nach 6 Stunden:
Bestrahlte Pupille: 6 mm.
Unbestrahlte Pupille: 9 mm.

Kontrolle nach 12 Stunden: Beide Pupillen 8 mm. Cornea nicht verändert. Fluoreszin ohne Besonderheiten.

4. Versuch. 18. VII. 1912.

Versuchsanordnung: Wie bei Versuch 3.

Versuchstier: Dasselbe, durch intravenöse Injektion von 0,5 ccm Urethan gut narkotisiert.

Ecarteur in das linke Versuchsauge. Kein Kokain. Pupillenweite beiderseits vor dem Versuch 10 mm.

Nach 1 Minute Bestrahlung:
Versuchsauge: 6 mm.
Kontrollauge: 9 mm.

Abbruch der Bestrahlung. Nach ½ Stunde:

Versuchsauge: 6 mm.
Kontrollauge: 9,5 mm.
Nach 11 Stunden keine Pupillendifferenz mehr wahrnehmbar.

5. Versuch. 5. VIII. 1912.

Versuchstier: Dasselbe.
Narkose: Aether 4,0 ccm, subkutan.
Als Filter wird bei diesem Versuch statt des Jodschwefelkohlenstoffs ein Stück schwarzes Glas eingeschaltet, das den Glühfaden der gleichen 16 M.-K.-Glühbirne kaum als schwachroten Faden erkennen läßt. Glasdicke 1,5 mm.

Versuchsanordnung: Damit das Glas infolge der intensiven Hitze des Flammenbogens nicht springe, wird dieses in unmittelbarer Nähe des Versuchsauges, unterhalb der Kochsalzlinse eingeschaltet.
Distanz vom Auge zum Filter ca. 3 cm.

In der gleichen Achse darüber die Kochsalzlinse, in einer Entfernung von 11 cm von den Kohlenspitzen der vertikal hängenden Bogenlampe. Zum Schutz der herabfallenden Kohlenpartikelchen wird die Linse mit einem ganz dünnen Stück hellbraunen Glimmers bedeckt, da dieser die ultraroten Strahlen besser durchläßt als Glas.
Bestrahlung total 8 Minuten:
Bestrahltes rechtes Auge: 6 mm.
Unbestrahltes Auge: 8 mm.
Nach 8 Stunden noch immer deutlich wahrnehmbare Differenz.
Kokain wurde nicht eingeträufelt. Ecarteur nur ins Versuchsauge.

6. Versuch. 27. IX. 1912.

Versuchstier: Dasselbe.
Narkose: Aether, subkutan.
Versuchsanordnung: Wie bei Versuch 3, nur wurde die Wasserschicht auf dem Filter noch etwas dünner gewählt, 1 cm, statt 1,5 cm.
Distanzen: Dieselben.
Bestrahlung kontinuierlich 5,25 Minuten.
Versuchsauge links: ca. 6 mm Pupillenweite.
Kontrollauge rechts: ca. 8 mm Pupillenweite.
Nach 12 Stunden keine Pupillendifferenz mehr.

7. Versuch. 28. IX. 1912.

Versuchstier II: Schwarzes Kaninchen von 1 kg Gewicht, mit gut pigmentierter Iris.
Narkose: Aether, subkutan, 2,0 ccm.
Versuchsanordnung: Wie bei Versuch 3 und 6. Als Filter wird statt Jodschwefelkohlenstoff diesmal eine Jodjodkalilösung verwendet, in einer Schicht von ca. 1,6 cm derart, daß sie die gleiche Durchsichtigkeit besitzt, wie die vorher benutzte Jodschwefelkohlenstofflösung. Der Faden der 16 M.-K.-Glühbirne ist also durch dieselbe noch als schwachrote Linie erkennbar. Da diese Lösung nicht brennbar ist, fällt die Wasserschicht zur Kühlung fort. Andrerseits werden, da es sich um eine wässerige Lösung handelt, doch die langwelligen ultraroten Strahlen genügend absorbiert.

Bogenlampe vertikal aufgehängt. Darunter im Abstand von ca. 3 cm eine große Petrischale von 12 cm Lumen und 1,5 mm Glasstärke. Darin die Filtrierlösung. Unter der Schale direkt die Kochsalzlinse, mit ihrem oberen Rand 13 cm vom Versuchsauge entfernt. Möglichst scharfe Einstellung der beiden Kohlenspitzen, die auf schwarzem Papier einen schwachroten Reflex geben. Das Auge wird möglichst im Vereinigungspunkt der ultraroten Strahlen eingestellt.
Ecarteur nur ins Versuchsauge.
Bestrahlung: Nach 4 Minuten Konjunktiva deutlich chemotisch. Nach 6 Minuten infolge Chemosis nur noch ein Drittel der Iris frei. Nach

7,5 Minuten kocht Lösung sehr stark, so daß, um nicht das Zerspringen des Gefäßes zu riskieren, der Versuch abgebrochen wird.

Versuchsauge: 3 mm Pupillenweite.
Kontrollauge: 4,5 mm Pupillenweite.
Nach 6 Stunden: Differenz dieselbe.
Nach 14 Stunden: Beide Pupillen gleich weit.

Epikrise.

Aus Versuch 1, 3, 4, 5, 6 und 7 ergibt sich, daß die ultrarote Strahlung imstande ist, am pigmentierten Kaninchenauge eine Reizung der Iris, die sich in einer mehrere Stunden dauernden Verengerung der Pupille äußert, hervorzurufen.

Die Reizerscheinungen der Bindehaut und der Hornhaut sind unbedeutend; stärker nur in Versuch 7, wo wahrscheinlich außer dem Ultrarot noch eine Spur Rot mitging. Vielleicht wirkte in diesem Versuch auch eine größere Menge desjenigen langwelligen Ultrarots mit, das von den Augenmedien absorbiert wird, da keine Wasserkühlschicht eingeschaltet war und die wässerige Jod-jodkalilösung zur gänzlichen Absorption dieser Strahlen nicht genügte. Daß aber die Intensität dieses langwelligen Ultrarot nur gering sein konnte, geht daraus hervor, daß es bei den Versuchen nie gelang, eine deutliche Wärmewirkung auf die Haut zu erzielen, wenn die Haut des Handrückens in den Bereich des Vereinigungspunktes der ultraroten Strahlen gebracht wurde.

Es geht also aus unseren Versuchen unzweideutig hervor, daß die kurzwelligen, die Augenmedien durchsetzenden ultraroten Strahlen imstande sind, auf innere Teile des Auges eine Reizwirkung auszuüben. Unsere Versuche ergeben also in analoger Weise eine Schädigung der Zellen des Auges, wie die Versuche *Hertels* eine solche der einzelligen Lebewesen.

Nach neuen Untersuchungen von *Vogt* am menschlichen Auge absorbiert von allen Medien des Auges die Iris das Ultrarot am meisten, so daß die in unseren Versuchen erzielte Wirkung auf die Iris des Kaninchenauges leicht verständlich wird.

Inwieweit auch andere innere Teile des Auges, insbesondere Linse und Netzhaut durch diese Strahlen Schädigung erleiden könnten, bleibt noch zu entscheiden. In unsern Versuchen konnten wir keine *ophthalmoskopisch nachweisbare* Trübung der Linse oder Veränderung der Netzhaut erzielen[1]).

---

[1]) *Anmerkung bei der Korrektur 8. XII. 1913:* Gegenüber einer neueren Darstellung von *v. Heß*, welche auf die Untersuchungen von *Birch-Hirschfeld* Bezug nimmt (*C. v. Heß*, Ueber Schädigungen des Auges durch Licht, Arch. f. Augenheilk. LXXV. Bd. S. 127, 1913), „daß *Vogts* Versuch, auch die Sonnenblendung auf die ultraroten Strahlen zu beziehen, sich als unhaltbar erwiesen habe", sei bemerkt, daß bisher *kein einziger Versuch* vorliegt, der auf *direktem* Wege die Frage der Schädlichkeit der ultraroten Strahlen auf die Netzhaut prüfte. Diese Frage ist also bis heute durchaus unentschieden. Da es aber nahe liegt, mit *Deutschmann* die Schädigung durch Sonnenblendung als eine *thermische* aufzufassen (welche Ansicht auch *Birch-Hirschfeld* und *v. Heß* vertreten und eingehend begründen), die kurzwelligen Wärmestrahlen aber in dem Pigmentepithel und in der angrenzenden Aderhaut eine beträchtliche

Zum Schluß der Arbeit drängt es mich, Herrn Oberarzt Dr. *Vogt*, auf dessen Anregung und unter dessen Leitung die vorliegenden Untersuchungen angestellt wurden, für seine Hilfe und Unterstützung bei der Anordnung der Versuche und bei der Redaktion des Textes meinen besten Dank auszusprechen. Herrn Direktor Dr. *Bircher*, der mir die zu den Versuchen notwendigen Installationen im chirurgischen Laboratorium freundlichst gestattete, sei an dieser Stelle ebenfalls bestens gedankt. Ebenso bin ich Herrn Prof. Dr. *Mellinger*, dem Direktor der Augenklinik in Basel, der mir in liebenswürdiger Weise die Bibliothek seines Instituts zur Verfügung stellte, für das Interesse, das er der vorliegenden Arbeit entgegenbrachte, zu speziellem Dank verpflichtet.

Literatur-Verzeichnis.

1. *Melloni* (Poggen. An. Bd. XXXV. p. 385). 1835. 2. *Franz* (Poggen. An. Bd. CIV. p. 266—279). 1862. 3. *Engelmann*, Onderzoekingen gedaan in het Physiol. Laboratorium der Utrechtsche Hoogeschool. Der de Recks VII, 2. p. 291. 1882. 4. *Widmark, J.*, Ueber den Einfluß des Lichtes auf die vorderen Medien des Auges. (Aus dem physiol. Laboratorium des Carolinischen medico-chirurgischen Instituts in Stockholm.) 1889. 5. Derselbe, Ueber die Durchdringlichkeit der Augenmedien für ultraviolette Strahlen. (Skandinavisch Archiv f. Phys.). 1891. 6. *Birch-Hirschfeld*, Blendung der Netzhaut. (Lubarsch und Ostertag, Ergebnisse der allgem. Pathologie und pathol. Anatomie.) 1910. 7. *Vogt, A.*, Experimentelle Untersuchungen über die Durchlässigkeit der durchsichtigen Medien des Auges für das Ultrarot künstlicher Lichtquellen. (Gräfes Archiv. Bd. LXXXI. 1. Heft. 1912.) 8. Derselbe, Einige Messungen der Diathermansie des menschlichen Augapfels und seiner Medien, sowie des menschlichen Oberlids, nebst Bemerkungen zur biologischen Wirkung des Ultrarots. (Gräfes Arch. Bd. LXXXIII. 1. Heft. 1912.)

Absorption erleiden, so ist nicht einzusehen, weshalb sich gerade die Wärmestrahlen an jener thermischen Schädigung nicht beteiligen sollen! Wenn sie dies nicht tun würden, dann wäre doch jene Hypothese der thermischen Wirkung abgetan!

Uebrigens wurde von *Vogt* nicht mehr als eine *Mitbeteiligung* der ultraroten Strahlen an der Schädigung vermutet. Klarheit über diese Frage kann nur das Experiment mit *isoliertem* kurzwelligem Ultrarot solcher Intensität liefern, wie sie das Sonnenlicht aufweist.